

X線断層像の鮮鋭度について

Distinction in Layer Radiography

草谷晴之*

内 容 梗 概

断層撮影においては直接撮影に比し、鮮鋭度に影響をおよぼす因子が多い。その主なるものは

- (1) 焦点の大きさによる半影の影響
- (2) 増感紙、フィルムの解像力およびそれらに対して斜めにX線が入射するために生ずる影響
- (3) 断層撮影装置の機械的精度

などである。今回は上記(1)、(2)およびそれらを総合した場合の解像力について調べた結果を記した。焦点の大きさが2.3mmまたはそれより大きい場合には、(1)の問題が最も大きく、拡大断層撮影のごとくきわめて小さな焦点を用いた場合には(2)が問題となることを知った。

[I] 緒 言

X線写真の鮮鋭度を向上することは非常に望ましいことであるが、断層撮影においては装置の機械的精度が鮮鋭度に影響をおよぼすことは勿論、管球の焦点・フィルム・増感紙なども普通撮影の場合と異った複雑な形で鮮鋭度に影響をおよぼす。鮮鋭度のよい写真を撮るにはこれら種々な要因の箇々について知るとともにそれらを総合してどこに注意すべきかを見出さねばならないが、今回は焦点の半影による影響、増感紙・フィルムの影響・またそれらが斜方向よりX線照射を受けるために生ずる効果およびそれらが組合されて生ずる影響について実験し、検討した結果について報告する。

[II] 実験方法

鮮鋭度の試験方法としては色々な方法が行われているが最も簡単な方法として第1図のような試験片を撮影し、どの程度の細かい線まで見分けられるかによつて鮮鋭度を試験した。この場合見分けうる最小直径を d mm とすると(1)式で与えられる R を解像力と呼んでいる。

$$R = \frac{1}{2d} \dots \dots \dots (1)$$

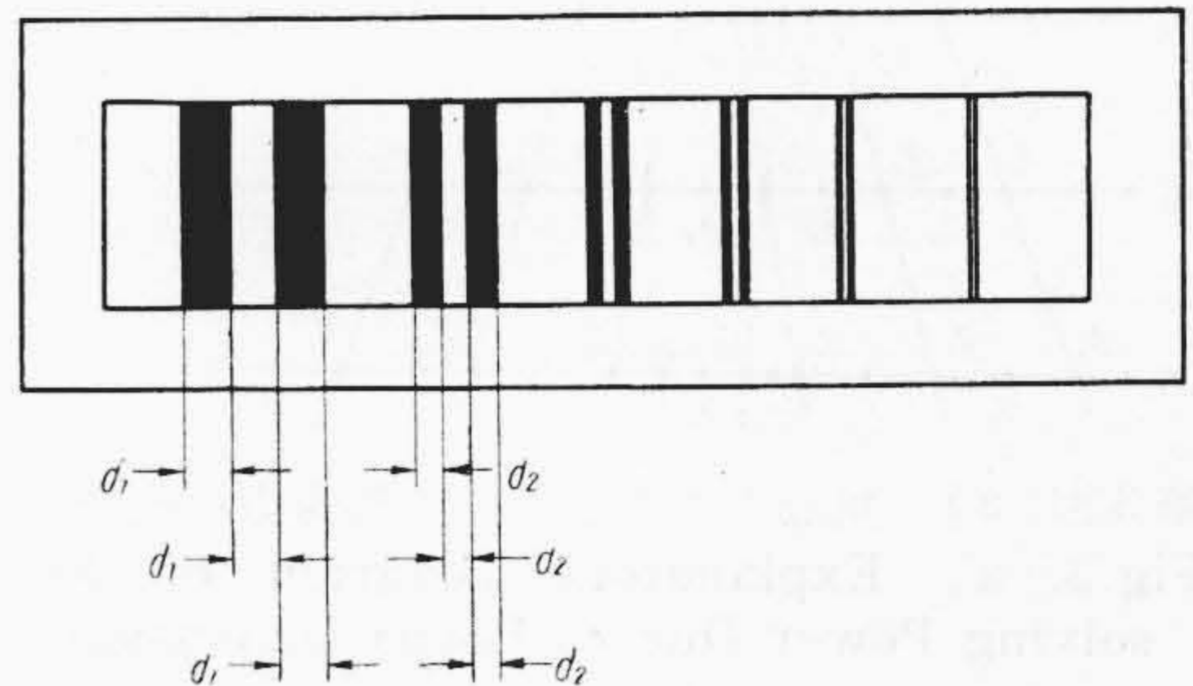
ただし d : mm

実験に用いた試験片に張った線(銅または鋼)の直径は第1表のごとくである。

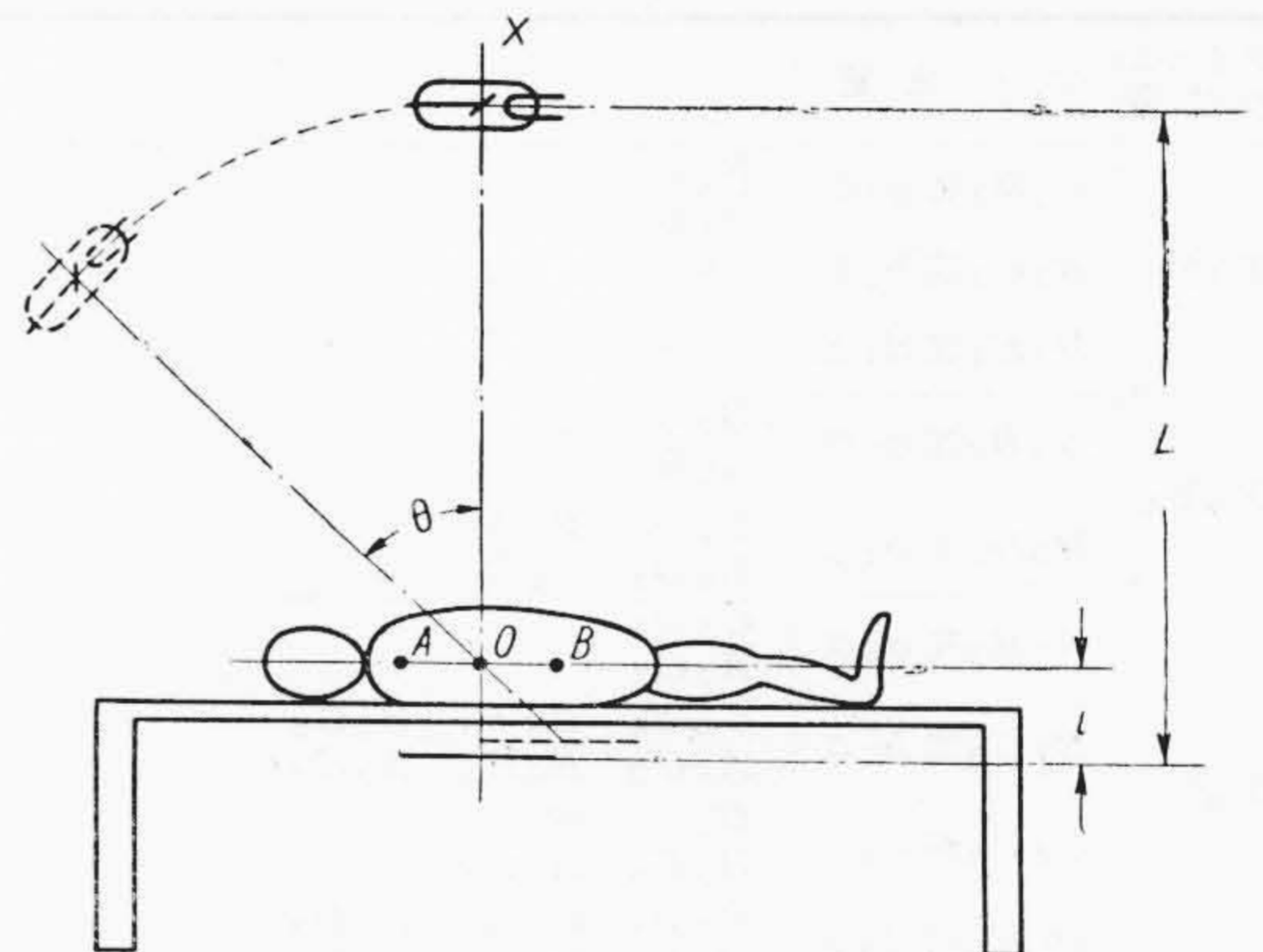
つぎに実際の断層撮影の場合には管球が回転しながらX線を照射するが色々な因子の影響が入り分離できなくなるので、今回の実験では照射方向を一定角度に停め、その角度を色々変化させて斜方向よりX線が入射することによる影響を静的に調べた。

試験片の管球およびフィルムに対する置き方は、試験片に張った線がフィルム面と管球回転面との両者に直角な面内にあつて、しかも線が両方の面とそれぞれ45°の角度をなすようにした。(第

* 日立製作所亀戸工場



第1図 解像力試験片
Fig.1. Test Piece of Resolving Power

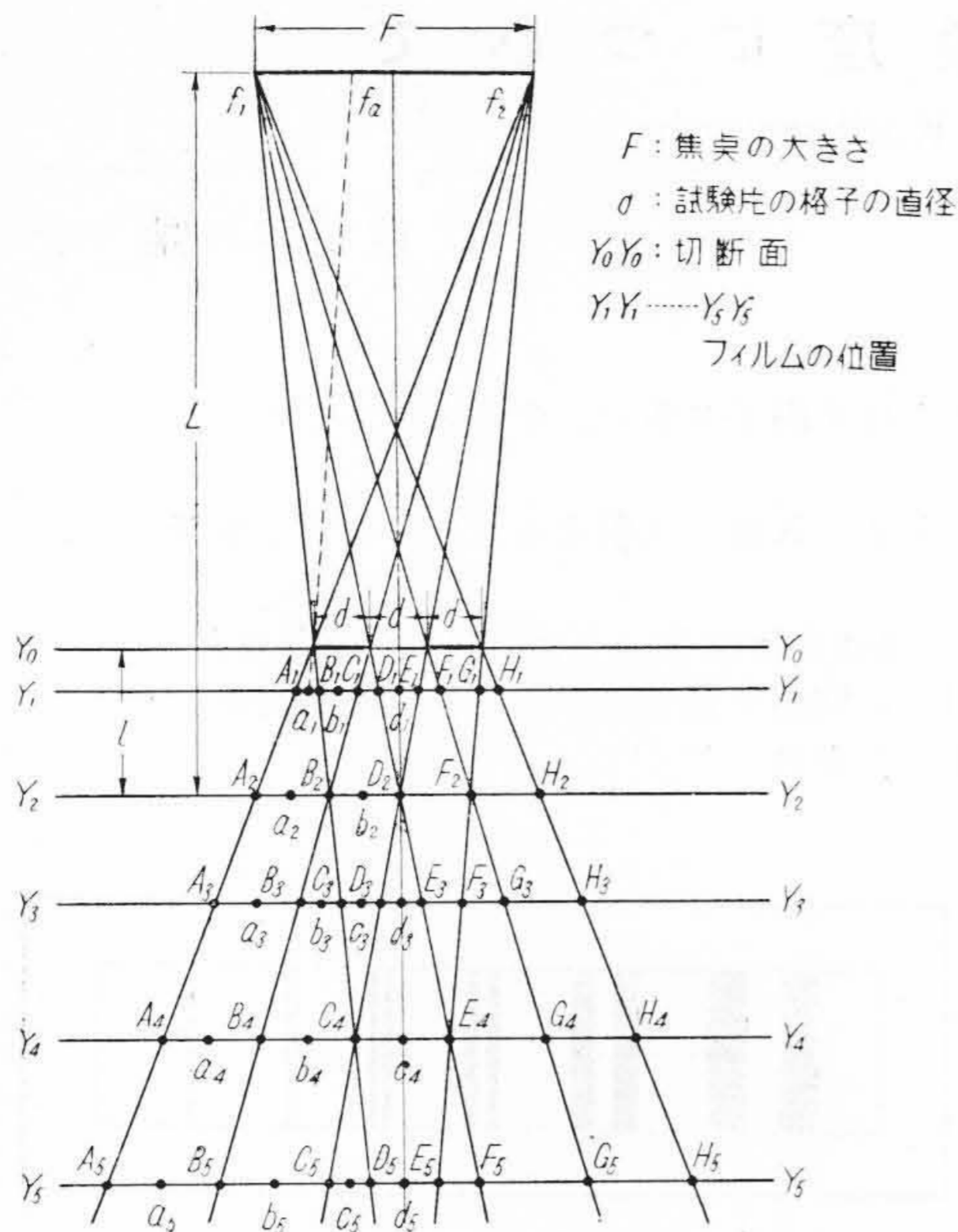


第2図 トモグラフにおける焦点・被写体・フィルム間の距離
Fig.2. Relative Distance of Focus, Object and Film of Tomograph

4図参照)

第1表 試験片に張った線の直径と解像力
Table 1. Diameter of Wire of Test Piece and its Resolving Power

d (mm)	0.5	0.32	0.26	0.2	0.16	0.10	0.07	0.06	0.05	0.04
R	1.0	1.56	1.92	2.5	3.12	5.0	7.14	8.34	10.0	12.5



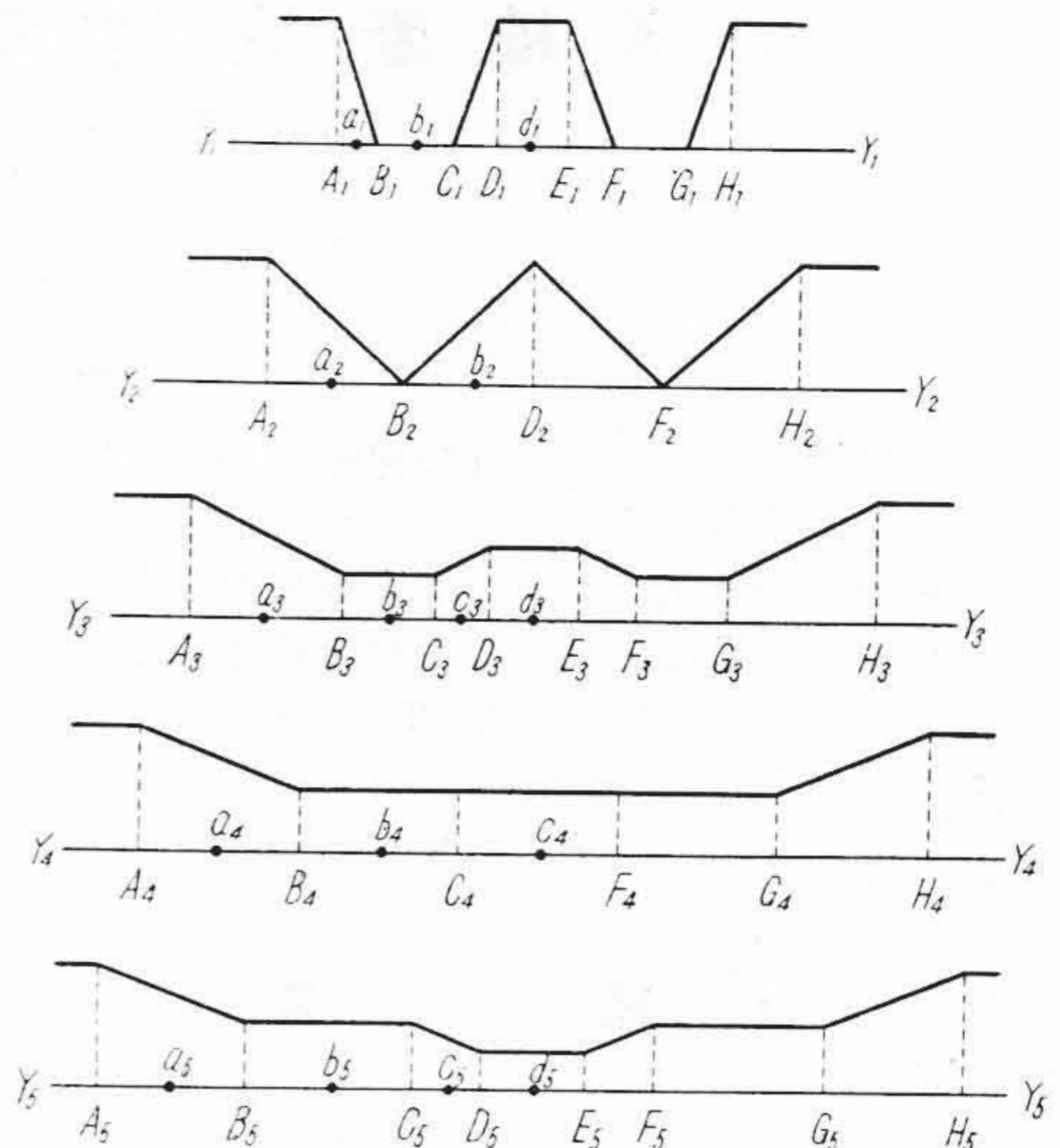
第 3 図 (a) 焦点の大きさによる解像力の説明図
Fig. 3. (a) Explanatory Diagram of Resolving Power Due to Focus Dimension

第 2 表 相 対 X 線 強 度 の 計 算
Table 2. Calculation of Relative X-ray Intensity

フィルムの位置	点の位置	計算式
Y ₁ Y ₁	A ₁ B ₁ 間 a ₁ 点	$\frac{B_1 a_1}{A_1 B_1}$
	B ₁ C ₁ 間 b ₁ 点	0
	D ₁ E ₁ 間 d ₁ 点	1
Y ₂ Y ₂	A ₂ B ₂ 間 a ₂ 点	$\frac{B_2 a_2}{A_2 B_2}$
	B ₂ D ₂ 間 b ₂ 点	$\frac{B_2 b_2}{B_2 D_2} = \frac{B_2 b_2}{A_2 B_2}$
Y ₃ Y ₃	A ₃ B ₃ 間 a ₃ 点	$\frac{C_3 a_3}{A_3 C_3}$
	B ₃ C ₃ 間 b ₃ 点	$\frac{C_3 b_3}{A_3 C_3} + \frac{B_3 b_3}{B_3 E_3} = \frac{B_3 C_3}{A_3 C_3}$
	C ₃ D ₃ 間 c ₃ 点	$\frac{B_3 c_3}{B_3 E_3} = \frac{B_3 c_3}{A_3 C_3}$
	D ₃ E ₃ 間 d ₃ 点	$\frac{B_3 d_3}{B_3 E_3} - \frac{D_3 d_3}{D_3 G_3} = \frac{B_3 D_3}{A_3 D_3}$
Y ₄ Y ₄	A ₄ B ₄ 間 a ₄ 点	$\frac{a_4 C_4}{A_4 C_4}$
	B ₄ C ₄ 間 b ₄ 点	$\frac{C_4 b_4}{A_4 C_4} + \frac{B_4 b_4}{B_4 E_4} = \frac{B_4 C_4}{A_4 C_4} = \frac{1}{2}$
	C ₄ E ₄ 間 d ₄ 点	$\frac{B_4 d_4}{B_4 E_4} - \frac{C_4 d_4}{C_4 G_4} = \frac{B_4 C_4}{A_4 C_4} = \frac{1}{2}$
Y ₅ Y ₅	A ₅ B ₅ 間 a ₅ 点	$\frac{a_5 D_5}{A_5 D_5}$
	B ₅ C ₅ 間 b ₅ 点	$\frac{b_5 D_5}{A_5 D_5} + \frac{B_5 b_5}{B_5 F_5} = \frac{B_5 D_5}{A_5 D_5}$
	C ₅ D ₅ 間 c ₅ 点	$\frac{C_5 D_5}{A_5 D_5} + \left(\frac{B_5 C_5}{B_5 F_5} - \frac{C_5 c_5}{C_5 G_5} \right) = \frac{C_5 D_5}{A_5 D_5} + \frac{B_5 C_5}{A_5 D_5}$
	D ₅ E ₅ 間 d ₅ 点	$\frac{B_5 D_5}{B_5 F_5} - \frac{C_5 d_5}{C_5 G_5} = \frac{B_5 C_5}{A_5 D_5}$

〔III〕 焦点の大きさによる解像力

断層撮影においては被写体とフィルムの距離 (l) がそ



第 3 図 (b) 焦点の大きさによる解像力の説明図
Fig. 3. (b) Explanatory Diagram of Resolving Power Due to Focus Dimension

第 3 表 焦 点 の 解 像 力
Table 3. Resolving Power of Focus

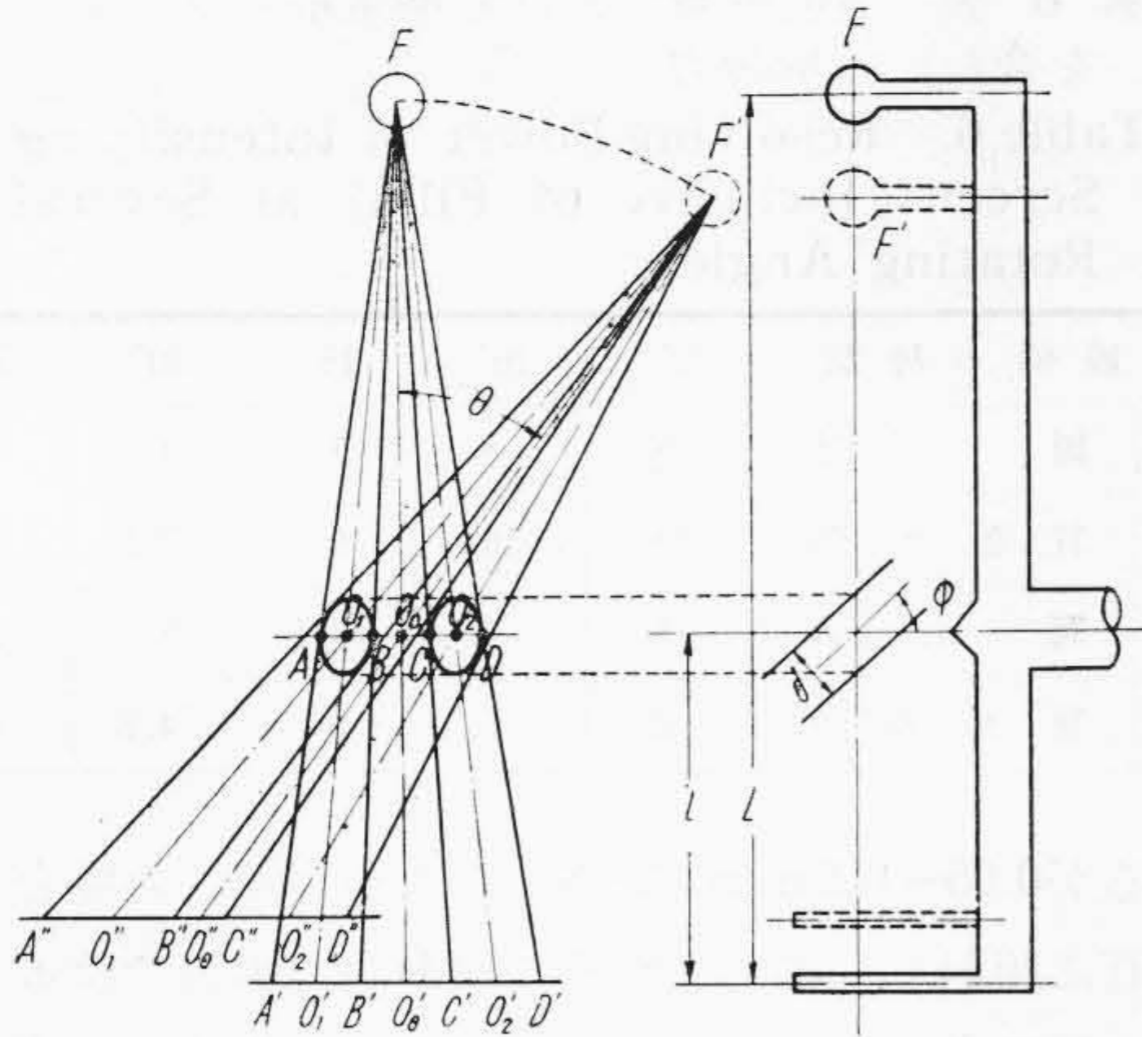
焦点 (mm)	0.3	1.0	1.7	2.0	2.3	5.0
項目						
R	16.7	5.0	2.94	2.5	2.17	1.0
d min	0.03	0.10	0.17	0.20	0.23	0.50

ただし d min: 見分けうる最小直径 (mm)
L=120 cm, l=30 cm として計算

の構造上、直接撮影の場合より大きくなるので (第 2 図) 焦点の半影の影響が大きくなる。

いま第 3 図 (a) において F を焦点の大きさとし解像力試験片を断層切断面 Y₀ Y₀ 上におき、線の直径を d とし (ただし線の幅のみ考え、厚さは無視する)、フィルムを Y₁ Y₁, Y₂ Y₂ などの位置に置いた場合に試験片のフィルム上の陰影を求める。この場合試験片に張つた線は X 線の完全な吸収体であり、X 線は焦点上より一様に発生しているものと仮定する。第 3 図 (a) において A₁, A₂, ..., A₅ 点より左側の点は焦点上のすべての点より発する X 線が到達し、なんらさえぎられないのでこれらの点の X 線強度を基準 (1) として他の点の相対 X 線強度を求める。

Y₁ Y₁ 上の a₁ 点について考えると焦点上 f_a f₂ 間より発する X 線は試験片の左側の線によつてさえぎられ、f₁ f_a 間より発する X 線だけが a₁ 点に達する。したがつて a₁ 点の相対 X 線強度は $\frac{f_1 f_a}{f_1 f_2} = \frac{a_1 B_1}{A_1 B_1}$ となる。他の点についても同様に計算すると第 2 表のごとくなり、これを図に示したのが第 3 図 (b) である。この図において Y₄ Y₄ なる位置 ((2) 式で決まる位置) では試験片の線はなんらの区別がつかず、さらに遠い位置では 2 本の



第4図 試験片の幾何学的陰影
Fig.4. Geometrical Shadow of Testing Wire

線が1本となつて現れる。この場合は2本の線の陰影を求めたが、 n 本の線について求めるとこのような $Y_4 Y_4$ より遠い位置では $n-1$ 本となる。

これより焦点の大きさ F およびフィルムと焦点および被写体間の距離 L, l がきまれば見分けうる最小直径 d は次式で与えられる。

$$\frac{l}{L} = \frac{2d}{F} \dots \dots \dots (2)$$

したがつて焦点の半影によるボケを考えるのに、(3)式で与えられる R をもつて焦点の解像力をきめることができる。

$$R = \frac{1}{2d} = \frac{L}{F \cdot l} \dots \dots \dots (3)$$

ただし F : mm
 L, l : 同一単位

この式より色々な大きさの焦点について解像力を計算すると第3表のようになる。

〔IV〕 X線が斜方向より照射するために生ずる解像力の変化

(1) 解像力試験片の幾何学的陰影

第4図において解像力試験片の2本の線の中心を O_1, O_2 とし、 O_0 に回転中心があるものとすれば、試験片の線がフィルムと平行で回転角 θ が零のときは $L, l \gg d$ であるからX線は平行光線と考えられ次式が成立する。

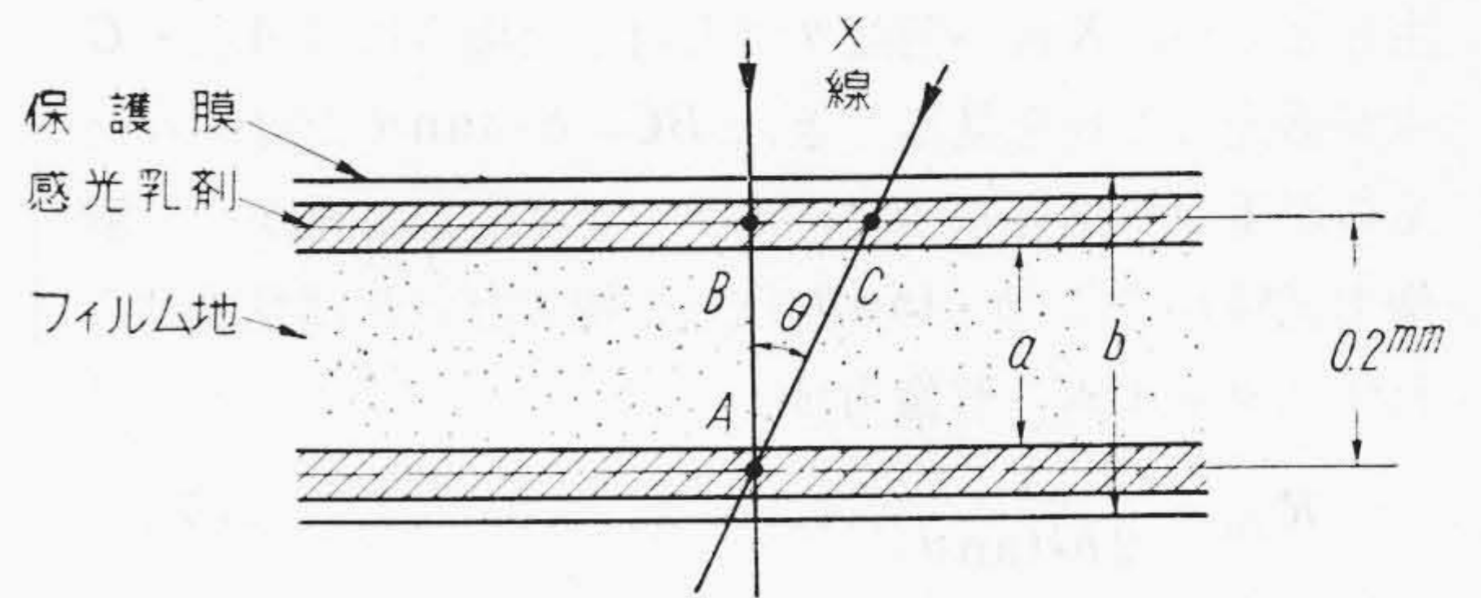
$$A'B' = B'C' = C'D' = O_1'O_0' = O_0'O_2' \dots \dots \dots (4)$$

しかし試験片がフィルム面と ϕ の角をなすようにおいてあるときは、鉛直な断面は楕円となり、短軸は d であるが、長軸は鉛直方向に $\frac{d}{\cos \phi}$ となる。これに回転角 θ の方向より平行X線が入射するときの陰影は、

$$O_1''O_0'' = O_0''O_2'' = O_0'O_2' = A'B',$$

第4表 各回転角における解像力の減少
Table 4. Reduction of Resolving Power at Several Rotating Angle

回転角 θ	0°	10°	15°	20°	30°
$k_1 = 2 - \sqrt{1 + \tan^2 \theta}$	1.0	0.97	0.93	0.87	0.71
$k_2 = 2 - \sqrt{1 + 2 \tan^2 \theta}$	1.0	0.985	0.97	0.94	0.85
$\frac{k_1}{k_2}$	1.0	0.985	0.96	0.93	0.835



第5図 X線フィルムの断面
Fig.5. Section of X-ray Film

$$A''B'' = C''D'' = \sqrt{1 + \frac{\tan^2 \theta}{\cos^2 \phi}} \cdot A'B' \dots \dots (5)$$

となる。したがつて

$$B''C'' = O_1''O_2'' - A''B'' = \left(2 - \sqrt{1 + \frac{\tan^2 \theta}{\cos^2 \phi}}\right) \cdot A'B' \dots \dots \dots (6)$$

となる。いまの場合 $\phi = 45^\circ$ であるから2本の線の間隔が $(2 - \sqrt{1 + 2 \tan^2 \theta})$ 倍に小さくなる。

このことは試験片の2本の線に厚さがなければ角度によつて影響は現われないが、線の断面が円形でしかもこれをフィルム面に傾けておいてあるため、回転角度 θ によつて線の間隔が $(2 - \sqrt{1 + 2 \tan^2 \theta})$ 倍に小さくなる。逆に考えればフィルム上でも見分けられる最も細い線の直径が $\frac{1}{(2 - \sqrt{1 + 2 \tan^2 \theta})}$ 倍に太くなるわけで、解像力は同じ倍率で悪くなったことになる。これはまた、フィルムおよび増感紙の解像力が $(2 - \sqrt{1 + 2 \tan^2 \theta})$ 倍に悪くなったと考えることもできる。また試験片をフィルム上においた場合、すなわち $\phi = 0^\circ$ のときは上と同様に、フィルムおよび増感紙の解像力が $(2 - \sqrt{1 + \tan^2 \theta})$ 倍に悪くなると考えられる。これらの値を色々な角度について計算すると第4表のようになる。

(2) フィルムの厚さの影響

直接撮影用X線フィルムの断面は第5図の通りで、フィルム地の厚さ a は0.17~0.19mm、保護膜の厚さは約 3μ 、乳剤の厚さは0.03~0.04mmといわれている。全体の厚さ b は数枚のフィルムについて実測したところでは0.22~0.24mmであつた。したがつて上下乳剤の中心間距離は約0.2mmとなる。

第 5 表 各回転角におけるフィルムの厚さによる解像力

Table 5. Resolving Power due to Film Thickness at Several Rotating Angles

θ	0°	10°	15°	20°	30°
$0.2 \tan \theta$ (mm)	0	0.035	0.050	0.071	0.115
R_{fa}	∞	14.3	10.0	7.06	4.35

いまこれに X 線が垂直に入射した場合には A 点, B 点が感光し, これを見るときは両者重つてなんらのボケも生じないが, X 線が角度 θ で入射した場合には A 点・C 点が感光しこれを見るときは $BC=b \cdot \tan \theta$ だけずれたものが重つて見えるので, ボケを生ずる。したがって解像力試験片では $b \cdot \tan \theta$ 以上の線でなければ見分けられず, フィルムの解像力は

$$R_{fa} = \frac{1}{2b \cdot \tan \theta} \dots \dots \dots (7)$$

となる。(7) 式において $b=0.2\text{mm}$ として各角度について R_{fa} を求めると第 5 表のようになる。

なおフィルムの乳剤自身の内部でもボケを生ずるが, 解像力は 20~30 といわれている。したがってフィルムとしては上述の上下層に斜めに X 線が入るため解像力 R_{fa} と乳剤自身による解像力 R_{fo} との合成になる筈であるが, $\theta > 10^\circ$ においては R_{fa} が R_{fo} よりずっと小さいので, ボケの大部分は R_{fa} の項によるものと考えられる。

(3) 増感紙の解像力

増感紙は普通前葉増感紙と後葉増感紙をフィルムの前後面に密着させて用いる。蛍光体層の厚さは種類により

第 6 表 各回転角における増感紙 (フィルムを含む) の解像力

Table 6. Resolving Power of Intensifying Screen (Inclusive of Film) at Several Rotating Angles

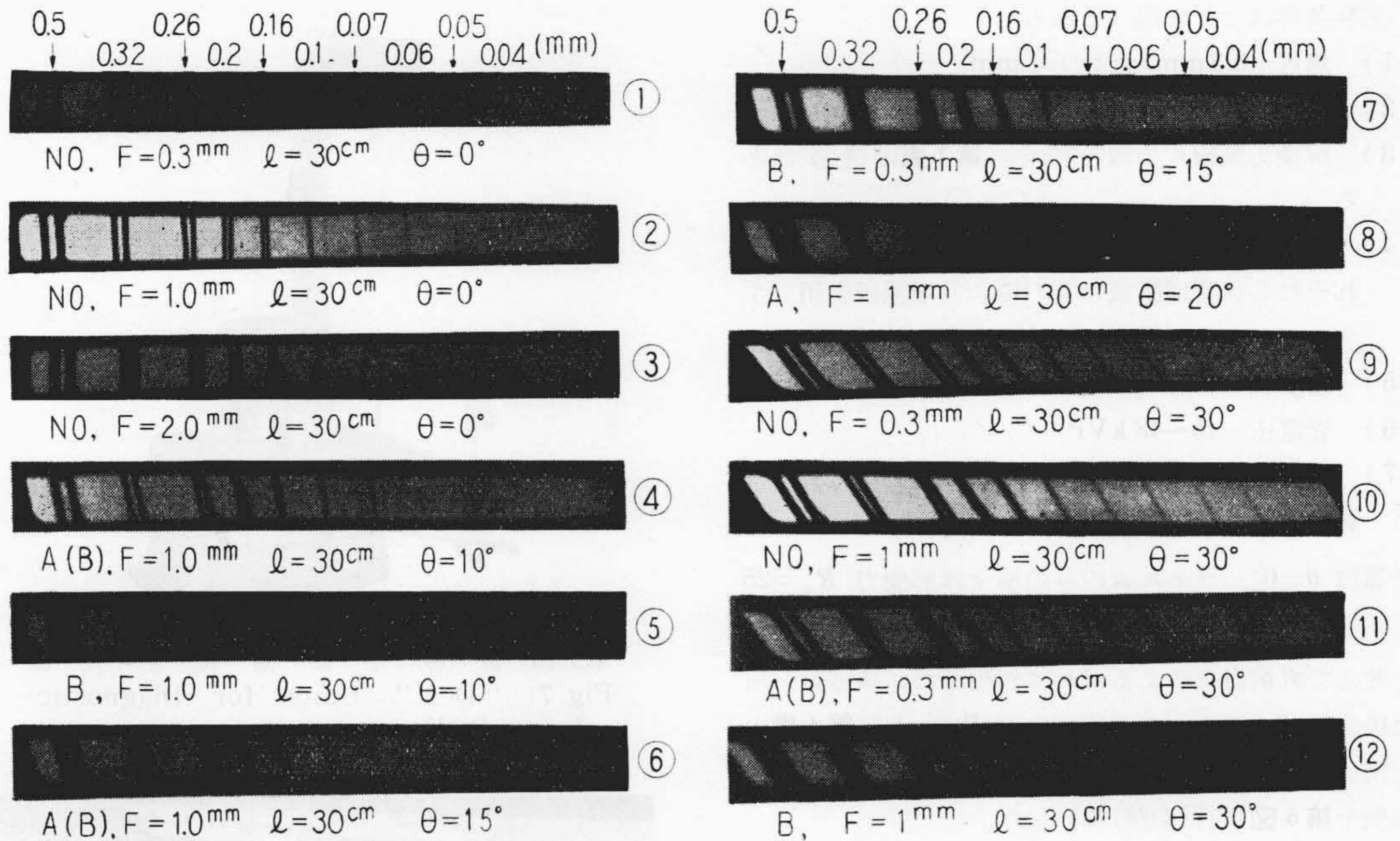
増感紙の種類	0°	10°	15°	20°	30°
A	両面	8	8	5	4
	背面のみ	10	10	9	7.5
B	両面	5	4	3.5	3
	背面のみ	6	6	5	4.5

異なるが 0.05~0.5mm である。したがってこの場合も面に垂直に照射した場合と斜めに照射した場合ではボケが異なる筈であり, また片側の増感紙のみを用いた場合と両側を用いた場合とでもボケは異なるものと考えられる。しかしそれらの場合における増感紙の解像力を実験で求めるには, 解像力試験片をカセットに密着すれば焦点の半影による影響はほとんどなく, また乳剤自身のボケも無視しうる程度であり, 増感紙が片側のみの場合には増感紙側の乳剤のみが感光するので簡単に求めうる。また両面の場合には増感紙の解像力とフィルムの解像力との合成が実験でえられるが, この場合のフィルムの解像力は厚さによる R_{fa} で, これは小さな値である (すなわちボケが大きい) ので, 精度のよい値は求められない。しかしいづれにしても斜方向より写すため, [IV](1) の影響は除きえない。実験結果ではこれらを含めて第 6 表の値が近似値として得られた。なお電圧によっても解像力は異なると考えられるが, この場合は一般の撮影に用いる約 50kVp で試験した。

第 7 表 実測値と計算値の比較

増感紙の種類	焦点 (mm)	$\frac{1}{R_F}$	$\theta=0^\circ$				$\theta=10^\circ$				$\frac{1}{R_F}$
			$\frac{1}{R_\theta}$	$\frac{1}{R_F+R_\theta}$	計算値 d_{min} (mm)	実測値 (mm)	$\frac{1}{R_\theta}$	$\frac{1}{R_F+R_\theta}$	計算値 d_{min} (mm)	実測値 (mm)	
フィルムのみ	0.3	0.06	0.032	0.021	0.046~0.036	$\cong 0.04$ ①	0.05	0.027	0.055~0.041	$0.05 > d > 0.04$	0.06
	1.0	0.20	0.032	0.028	0.116~0.102	$\cong 0.1$ ②	0.05	0.041	0.125~0.104	$0.16 > d > 0.1$	0.20
	2.3	0.46	0.032	0.030	0.246~0.231		0.05	0.045	0.255~0.222		0.46
A (B)	0.3	0.06	0.08	0.034	0.070~0.053	$0.06 > d > 0.05$	0.081	0.035	0.070~0.053	$0.06 > d > 0.05$	0.06
	1.0	0.20	0.08	0.057	0.140~0.111		0.081	0.058	0.140~0.111	$0.16 > d > 0.1$ ④	0.20
	2.3	0.46	0.08	0.069	0.270~0.235		0.081	0.069	0.271~0.236		0.46
A	0.3	0.06	0.10	0.037	0.080~0.061	$0.07 > d > 0.06$	0.102	0.038	0.081~0.062	$0.1 > d > 0.07$	0.06
	1.0	0.20	0.10	0.067	0.150~0.116	$0.16 > d < 0.1$	0.102	0.067	0.151~0.116	$0.16 > d > 0.1$	0.20
	2.3	0.46	0.10	0.082	0.280~0.239		0.102	0.083	0.281~0.239		0.46
B (B)	0.3	0.06					0.135	0.042	0.098~0.077	$0.1 > d > 0.07$	0.06
	1.0	0.20					0.135	0.080	0.168~0.128		0.20
	2.3	0.46					0.135	0.105	0.298~0.275		0.46
B	0.3	0.06	0.16	0.044	0.110~0.088	$\cong 0.1$	0.203	0.046	0.132~0.109	$0.16 > d > 0.1$	0.06
	1.0	0.20	0.16	0.089	0.180~0.135	$0.16 > d > 0.1$	0.203	0.101	0.202~0.151	$\cong 0.16$ ⑤	0.20
	2.3	0.46	0.16	0.119	0.310~0.250		0.203	0.141	0.332~0.261		0.46

ただし 増感紙の種類 (B) は後葉増感紙のみの場合, 実測値 ①, ②, ... は第 6 図の写真番号



第6図 測定結果の写真の数例

Fig.6. Examples of Experimental Results

〔V〕 フィルム・増感紙および焦点の解像力の合成

解像力がそれぞれ $R_A \cdot R_B$ のものが合成された場合の解像力を R_{AB} とすると近似的に (8) 式が成立つものといわれている⁽¹⁾。

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} - \frac{p}{R_A + R_B} \dots \dots \dots (8)$$

ただし $0 < p < 1$

いまフィルムおよび増感紙の解像力を R_a とし、これを焦点の解像力 R_F と合成すると (9) 式が成立する。

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_F} + \frac{1}{\frac{L}{L-e} R_a} - \frac{p}{R_F + \frac{L}{L-e} R_a} \dots (9)$$

ただし $0 < p < 1$
 右辺の第2項の $\frac{L}{L-e}$ は解像力試験片のフィルム上に対する拡大率であり、第3項は補正項である。

つぎに (9) 式を用いて計算した値と実測結果を比較す

Table 7. Comparison of Calculated Results with Experimental Results

$\theta=15^\circ$				$\theta=20^\circ$				$\theta=30^\circ$			
$\frac{1}{R_\theta}$	$\frac{1}{R_F+R_\theta}$	計算値 d_{min} (mm)	実測値 (mm)	$\frac{1}{R_\theta}$	$\frac{1}{R_F+R_\theta}$	計算値 d_{min} (mm)	実測値 (mm)	$\frac{1}{R_\theta}$	$\frac{1}{R_F+R_\theta}$	計算値 d_{min} (mm)	実測値 (mm)
0.084	0.035	0.072~0.055	0.06 > d > 0.05	0.122	0.041	0.091~0.070	0.1 > d > 0.07	0.22	0.048	0.140~0.116	0.16 > d > 0.1⑨
0.084	0.059	0.142~0.113	0.16 > d > 0.1	0.122	0.076	0.161~0.123	0.16 > d > 0.1	0.22	0.105	0.210~0.157	0.2 > d > 0.16⑩
0.084	0.068	0.272~0.238		0.122	0.096	0.291~0.243		0.22	0.149	0.340~0.266	
0.092	0.036	0.076~0.058	0.06 > d > 0.05	0.115	0.040	0.087~0.067	$\cong 0.07$	0.137	0.047	0.099~0.075	0.1 > d > 0.07⑪
0.092	0.063	0.146~0.114	0.16 > d > 0.1⑥	0.115	0.073	0.158~0.122	$\cong 0.16$	0.137	0.081	0.169~0.128	0.2 > d > 0.16
0.092	0.074	0.276~0.139		0.115	0.092	0.288~0.242		0.137	0.106	0.299~0.246	
0.167	0.044	0.114~0.092	0.1 > d > 0.07	0.215	0.047	0.137~0.108	0.16 > d > 0.1	0.320	0.051	0.190~0.164	0.2 > d > 0.16
0.167	0.091	0.184~0.138	0.16 > d > 0.1	0.215	0.104	0.207~0.155	0.2 > d > 0.16⑧	0.320	0.123	0.260~0.198	0.26 > d > 0.2
0.167	0.122	0.314~0.253		0.215	0.146	0.338~0.265		0.320	0.188	0.390~0.296	
0.167	0.044	0.114~0.092	0.1 > d > 0.07	0.191	0.046	0.125~0.102	$\cong 0.1$	0.240	0.048	0.150~0.126	
0.167	0.091	0.184~0.138	0.16 > d > 0.1	0.191	0.098	0.195~0.146	0.2 > d > 0.16	0.240	0.109	0.220~0.166	0.26 > d > 0.2
0.167	0.122	0.314~0.253		0.191	0.135	0.325~0.258		0.240	0.149	0.350~0.275	
0.238	0.048	0.149~0.125	0.16 > d > 0.1⑦	0.286	0.050	0.173~0.144	0.16 > d > 0.1	0.384	0.052	0.222~0.196	0.26 > d > 0.2
0.238	0.109	0.219~0.165	0.2 > d > 0.16	0.286	0.118	0.243~0.184	$\cong 0.2$	0.384	0.132	0.292~0.226	0.26 > d > 0.2⑫
0.238	0.157	0.349~0.270		0.286	0.176	0.373~0.285		0.384	0.210	0.422~0.317	

る。実験条件はつぎの通りである。

- (1) 焦点 0.3mm および 1mm
- (2) 距離 $L=150\text{ cm}$, $l=30\text{ cm}$, $L-l=120\text{ cm}$
- (3) 解像力試験片の線の直径は第1表の通りである。
- (4) 増感紙は第5表に示した A, B 2種類およびそれぞれの後葉増感紙のみの場合と増感紙を用いずフィルムのみの場合について実験した。
- (5) 角度 $\theta=0^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ$
- (6) 管電圧 45~48 kVP
- (7) 照射量 フィルム黒化度が約 0.7 となるように調整

計算は $\theta=0^\circ$, フィルムのみの場合には解像力 $R_a=25$ とし, その他の場合は第4表に示した $R_a=\frac{1}{2b\tan\theta}$ のみを考えて乳剤自身によるボケは無視した。増感紙を用いた場合はフィルムとの合成解像力 R_a として第6表の値を用いた。その結果を第7表(前頁参照)に示し, 写真の数例を第6図(前頁参照)に示した。

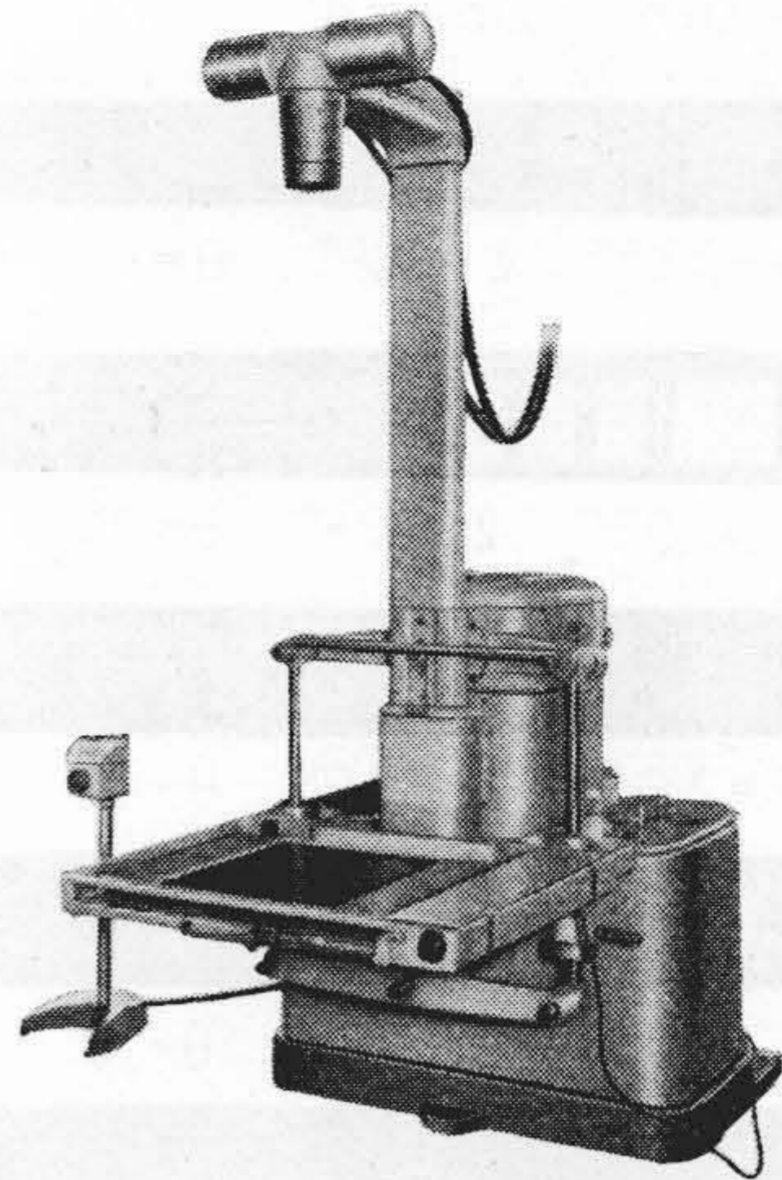
第7表において, R_F は焦点の解像力であり, R_θ は上述の R_a に [IV] (1) の影響を考慮して第4表の係数 $\frac{k_1}{k_2}$ を乗じ, さらに拡大率 $\frac{L}{L-l}=1.25$ を掛けたものである。 $\frac{1}{R_F+R_\theta}$ は補正項 ((9) 式の右辺第3項) の最大値である。 d_{min} は (9) 式より計算された合成解像力より求まる見分けうる最小直径で, 補正項を考えない場合を右側, 補正項の最大値を差引いた値を左側に記した。

実測値の欄でたとえば $0.07 > d > 0.06$ と記したのは直径 0.07mm の線は見分けられるが 0.06mm は見分けられないという意味であり, $d \approx 0.1$ と記したのは 0.1mm の線が見分けられるか否かの境にあるという意味である。

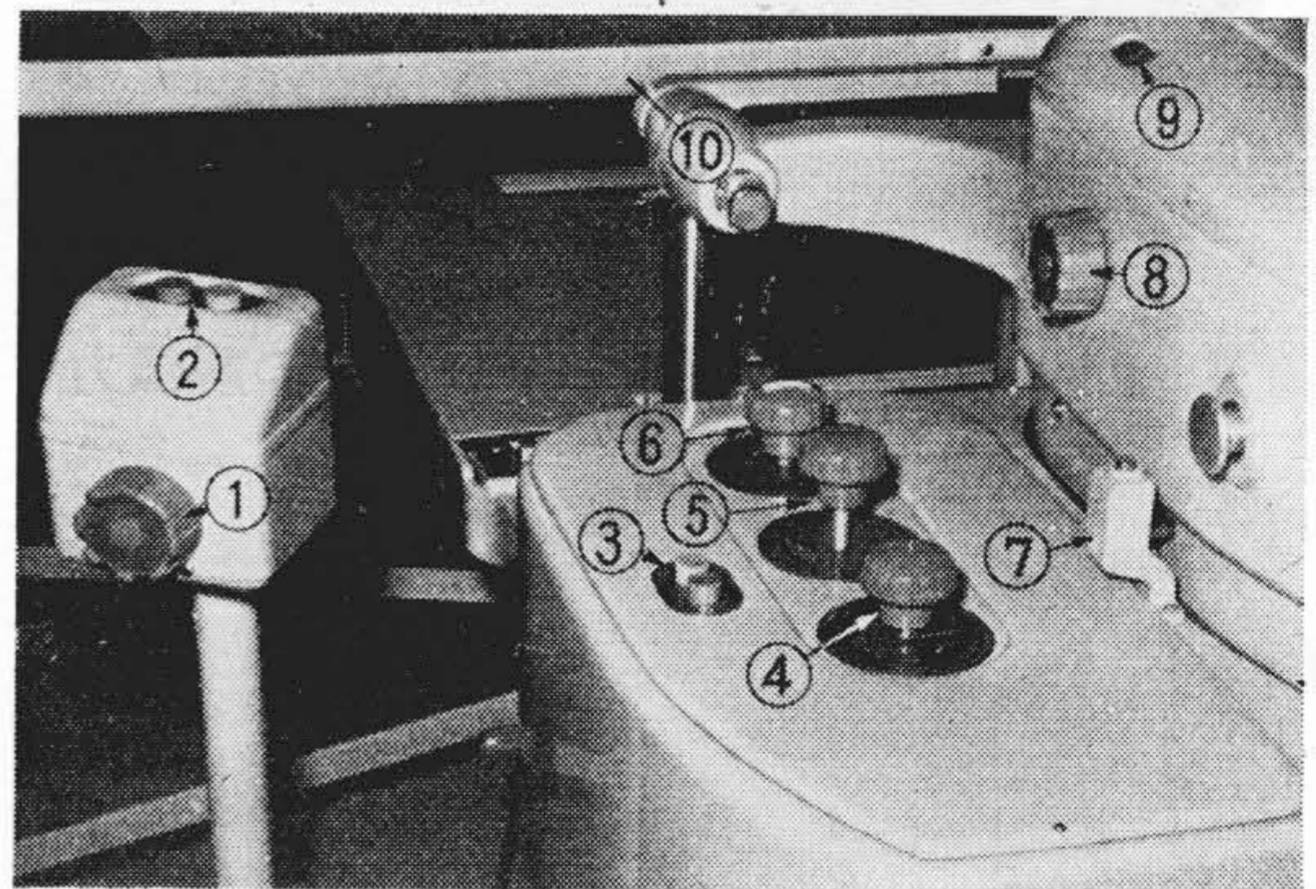
焦点 2.3mm では実験していないが計算結果のみを示した。

計算結果は補正項によつて最大 23% の幅があり, 試験片の線の直径の階段にもかなりの幅があるので, あまり精度のよい比較はできないが, 計算結果と実測結果が大体合致していることがわかる。このことより二つの解像力の合成には (8) 式を用いて近似的に計算できるものと考えられる。

なお実験に用いた焦点はピンホールカメラで測定したところ, 小焦点は $0.3 \times 0.3\text{ mm}^2$ であつたが, 大焦点の方は $1.0 \times 2.0\text{ mm}^2$ の長方形で, 管球の方向, すなわち長い方の辺を回転面に置くとほなほだしく解像力が悪くなった。すなわち第6図③は管球を 90° 回転して長い辺の方を用いた場合で, 同図②と比較するとあきらかに差異がわかる。



第7図 診療用断層撮影装置
Fig.7. "D-L" Units for Diagnostic Layer Radiography



- | | |
|---------------|------------|
| ① ブツキー撮影切替器 | ⑥ 截断面位置調整器 |
| ② 撮影用準備および起動鈕 | ⑦ 截断面位置指示器 |
| ③ 油圧装置起動鈕 | ⑧ 截断角度調整器 |
| ④ 回転速度調整器 | ⑨ 截断角度指示器 |
| ⑤ 装置上下用速度調整器 | ⑩ テーブル縁取り |

第8図 “D-L” 装置の操作部
Fig.8. Operating Parts of "D-L" Units

[VI] 検 討

2つの解像力 R_A, R_B を合成する場合 (8) 式が成立することは, $R_A > R_B$ でその差が大きくなる程 R_A の影響が少なくなることになる。すなわち合成解像力にはその成分中, 解像力最低の因子が最大の影響をもつわけで, 写真鮮鋭度を向上するには最悪の因子から改善するのが最も有効である。この点を第7表についてみると, 角度 θ を大きくすると解像力は低下する (d_{min} は逆に増大する) が, 焦点が小さいとき程角度 θ の影響が大きく, 焦点が大きいときは影響が小さい。そして焦点 0.3mm 30° においては, フィルムのみの場合より増感紙片面の方が解像力が大きい。これは普通の断層撮影では焦点が大きいので問題にならないが, 拡大断層の場合は焦点を小さ

くするので考慮すべき問題である。

つぎに焦点の解像力は(3)式より $\frac{L}{l}$ を大きくすればよいわけであるが回転角を小さくすれば l を小さくできるし、さらにフィルム・増感紙の解像力の低下も著しくないから、鮮鋭度の点からはできるだけ回転角を小さくするのがよい。特に両面増感紙の際は 20° を越えると解像力の低下は急激であるが、片面増感紙にすれば角度が大きくなっても解像力の低下がそれ程著しくない。

現在の断層装置においては焦点 2.3mm が普通であり、実際の撮影時には $l=15\sim 25\text{cm}$ と変るので焦点の解像力も $3.9\sim 2.5$ と変化するが、この値は回転角 20° (両側 40°) 以内のときは他の要因の解像力より小さな値であるので、これを大きくすること、すなわち焦点を小さくすることが最も有効と考えられる。

つぎに日立診療用断層装置“D-L”について考える。これは回転の始動、振れ角、振れ速度、停止、断面の調整など諸動作の制御は油圧操作を採用して断層撮影のみならずブッキ撮影も行い、それら切換・調整のすべての操作が簡単に行えるように考慮したもので、その仕様はつぎのごとくである。

断面管球距離 (第2図 $L-l$)1,200 mm
有効回転角度 (両側) 70°
振れ速度1~10 s
截断面調整範囲0~250 mm
X線管球焦点 $2.3\times 2.3\text{mm}^2$ (DO-10N)

またその全容および操作部の写真を第7図および第8図に示す。

断層像の鮮鋭度の点から考えて装置の上で問題となる点で、機械精度は勿論、第2図の l を小さくして L を大きくすることは(焦点の解像力より)きわめて重要である。機械精度と写真解像力の関係についてその詳細は他の機会にゆづるが、加工・検査の精度をあげ、十分な管理を行い、また l を小さくするためには回転の始動時に十分なトルクを与えて短時間(すなわちわづか回転したところ)で一定速度に達せしめてX線照射を開始し、終止時にもブレーキを加えて振れ過ぎを小さくおさえて回転角度を有効に利用し、またテーブルの縁取りのアンクルは機械側では上向けにするとか、その他カセットの厚さ、ブッキラスターの構造なども l を小さくするように十分留意しているので鮮鋭度のよい断層像がえられる。なお回転角度を変えて撮ると、先述したように像の鮮鋭度が変わるが同時に截断厚さも変わる。目的によつて色々な回転角度で撮りたい場合も多いがその場合、簡単に自由に回転角度を変えられるようにしたのは取扱上きわめて便利である。

〔VII〕 結 言

今回は基礎実験としてある角度傾けた位置に停止したときの鮮鋭度を調べたが実際の断層撮影装置においては回転しながらX線を照射する。したがつてまた装置の機械的精度も鮮鋭度に影響をおよぼすのでこれらの点も考慮に入れなければならないが、今回の実験よりつぎの結論がえられる。

- (1) 焦点の大きさによるボケは焦点・被写体・フィルムの相互距離に関係するので、被写体とフィルムはできる限り近づけるべきである。
- (2) 回転角度を大きくすると解像力は低下し、殊に 20° 以上すなわち両側 40° 以上になると急激に低下するから写真鮮鋭度の点からはできるだけ 20° 以内すなわち両側 40° 以内でとるのがよい。
- (3) 回転角度を大きくして撮る場合は増感紙を片面にすれば解像力の低下はかなり防ぎうる。したがつて角度の大きいときには低感度・高解像力の増感紙を両面用いるより、高感度・低解像力のものを片面用いた方がよい。
- (4) X線管焦点が 2mm 以上で回転角 20° 以内すなわち両側 40° 以上の場合は焦点によるボケが最も大きいので、これを小さくするのが最も有効である。
- (5) 拡大撮影の場合のごとく 0.3mm くらいの焦点で撮影する場合、回転角度が 20° 以上では増感紙を用いないフィルムのみの場合より、片面増感紙とした方が解像力は向上する。

以上トモグラフィの鮮鋭度に関する問題のうち、その一部について報告したが、読者各位の御参考になれば幸甚である。

終りに臨み、本研究を進めるに当り絶えず御懇切な御指導を戴いた上司の方々ならびに御援助を戴いた関係各位に厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 昭30-7 日医放学会、東北北海道新潟地方会における江藤氏(東大・医)の講演による。



日立製作所社員社外講演一覧 (昭和31年1月受付分)

(その1)

講演月日	主催	演題	所属	講演者
12/14	北海道炭硯技術会 低品位炭研究委員会	低品位炭焚ボイラーについて	日立工場	林 安 治
2/中旬	日本機械学会	ボックスガーターの研究	亀有工場	名 井 明
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	広領域光電管使用によるフィルタ光電光度計の 分析精度の向上について	日立研究所	古 渡 賢 助 橋 本 正 勝
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	隔膜を有する重水素濃縮用水電解槽	日立研究所	川 島 夏 樹
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	環状ジメチルポリシロキサンの溶液粘度につい て	日立研究所	中牟田 昌 治 植 木 元 司
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	フリーデルクフツ法によるフェノール類と無水 マレイン酸の反応	日立研究所	古 賀 弥
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	熱天秤による高分子物質の研究 (第12報) 二塩基酸ジェチレングリコールポリエステルに ついて	日立研究所	飯 島 貞 善 古 鶴 田 四 弥 郎
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	酸化安定度机上試験の意義について	日立研究所	高 橋 治 男
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	フルフリルアルコールの縮合反応 (第5報) 2, 3 の中間体の硬化反応について	日立研究所	岩 波 真 一 鶴 田 野 四 郎 高 野 三 雄
3/19	日本機械学会	工 具 鋼 の 特 性 と 選 び 方	安来工場	小 柴 定 雄
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	磨蝕電流のポーラログラフ測定	中央研究所	北 川 良 澄 世 澄 公 子
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	パルスによる分極測定について	中央研究所	杼 窪 一 澄 世 良 澄 郎 子
1/25	電気化学協会	水電解における代用隔膜の研究	中央研究所	北 川 公 二
3/24	日本機械学会	サイクロンファーンエスの研究の概況	日立研究所	河 原 誠
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	メタアンチモン酸カルシウム—カドミウム蛍光 体	中央研究所	江 本 正 之 佐 藤 興 吾 伴 野 正 美 江 本 正 之
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	ピロ磷酸塩を用いたハロ磷酸塩系蛍光体	中央研究所	高 谷 通
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	ジメチル (ジフェニル) ジクロロシランとアル コール類との反応について	中央研究所	黒 川 進
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	カプリルアシドおよびプチルアミドの Unit-Cell Dimensions と Space Group	中央研究所	黒 川 進
1/20	日本金属学会	クローム銅の研究 (第2報) クローム銅の焼鈍軟化および高温強度について	中央研究所	土 井 俊 雄
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	塩化ビニル樹脂混和物中の可塑剤の拡散速度	電線工場	吉 川 充 雄
4/2~6	日本化学会 化学機械協会	ネオプレンの加硫を充填剤の補強効果	電線工場	牛 尾 充 久 吉 川 充 雄
4/上旬	日本金属学会	アルミニウムの蠟接に関する研究 (第1報)	電線工場	山 路 賢 恒 藤 大 島 芳 昭
4/上旬	日本金属学会	電気銅の諸性質におよぼす元素の影響 (第1報) テ ル ル の 影 響	電線工場	山 路 賢 富 厨 川 吉 保
4/上旬	日本金属学会	鉄鋼中のガス迅速分析法の研究 (第1報) 迅 速 水 素 計	中央研究所	米 田 登 公 北 川 登 公
4/上旬	日本金属学会	鉄鋼中のガス迅速分析法の研究 (第2報) 鉄 鋼 中 の 水 素 分 析	中央研究所	米 田 登 公 北 川 登 公
4/上旬	日本金属学会	鉄鋼の金属化学的研究 (第11報) セメンタイトの分離定量	中央研究所	北 川 公 夫 柴 田 則 吉 人
1/18~20	武生商工会議所	安来双物鋼について	安来工場	住 田 勇
1/21	富山工業試験場	特殊鋼の熱処理について	安来工場	住 田 勇
1/26	日刊工業新聞	各種賃金制度と労務費計算の特異性	多賀工場	吉 岡 武 夫

(第94頁へ続く)